

Uplatnenie rádioanalytických metód pri analýze konštrukčných materiálov jadrových zariadení

Marcel Miglierini^{1,2,3}, Milan Štefánik¹, Lubomír Sklenka¹

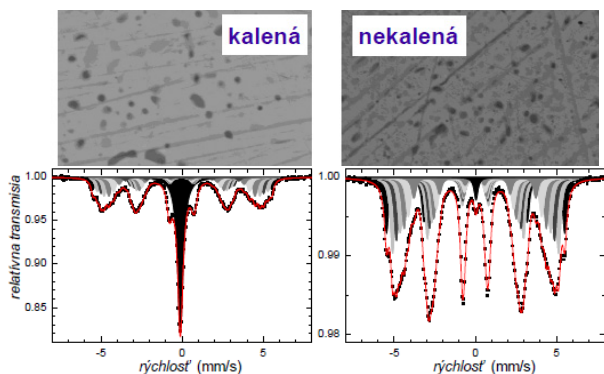
¹ Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, ČVUT v Praze

² Fakulta elektrotechniky a informatiky, STU v Bratislave

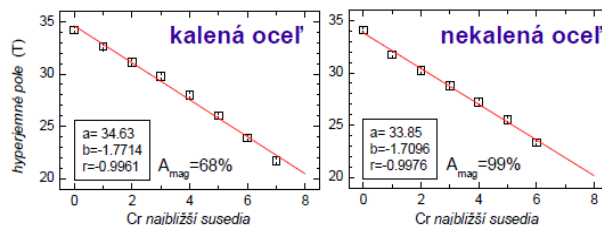
³ Slovenská spektroskopická spoločnosť, člen ZSVTS, Bratislava

Konštrukčné materiály jadrových zariadení sú počas svojej prevádzky náchylné na zmeny mikroštruktúry, keďže pracujú v náročných prevádzkových podmienkach. Pri skúmaní ich vlastností hrajú významnú úlohu tie rádioanalytické metódy, ktoré sú schopné sondovať najbližšie okolia konštitučných atómov. Na štúdium ocelí typu LC 200N sme použili Mössbauerovu spektrometriu a neutrónovú aktivačnú analýzu (NAA). Vzorok ocelí boli v stave po kalení ako aj pôvodné, t. j. nekalené. Ich morfológia bola skúmaná pomocou skenovacej elektrónovej mikroskopie (SEM).

Mössbauerova spektrometria je analytická metóda s vysokým diagnostickým potenciálom, ktorá využíva jadrové procesy. Jej energetické rozlíšenie je asi o päť rádov lepšie ako v prípade atómových spektier. Reflektuje štruktúrne usporiadanie a/aj magnetický stav rezonančných Fe atómov. Už z prvého pohľadu na spektrum je zrejmé, či konštitučné atómy vykazujú magnetické usporiadanie, alebo či sú nemagnetické. Táto skutočnosť je dobre viditeľná na spektrách z Obr. 1. Kým kalená oceľ vykazuje výraznú centrálnu absorpčnú čiaru, jej príspevok v nekalenej oceli je zanedbateľný a sotva je ho možné identifikovať. Tento spektrálny komponent reprezentuje austenitickú fázu v oceli. Šesťčiarové spektrálne komponenty sú pripísané magneticky usporiadanej feritickéj fáze. Pozostávajú z 8, resp. 7 samostatných sextetov, ktoré patria Fe atómom s rôznym počtom chrómových najbližších susedov v ich kryštalografickej mriežke. Ako vidno, Mössbauerova spektrometria je schopná identifikovať nielen prítomnosť cudzích prvkov v mriežke Fe, no zároveň sú príslušné spektrálne parametre závislé aj na počte týchto legujúcich atómov v najbližšom okolí Fe atómov.



Obr. 1 Obrázky získané pomocou SEM (hore) a zodpovedajúce Mössbauerove spektrá (dole) kalenej a nekalenej ocele LC 200N.



Obr. 2 Hodnoty hyperjenných polí sextetových komponentov Mössbauerových spektier kalenej a nekalenej ocele LC 200N.

Hodnoty hyperjenných polí jednotlivých sextetov Mössbauerových spektier na Obr. 2 vykazujú jasný lineárny pokles v závislosti od narastajúceho počtu Cr najbližších susedov rezonančných Fe atómov. Zároveň je možné určiť, že tento pokles je strmší pre kalenú oceľ (vid'. parameter b v legende Obr. 2). Z kvantitatívneho vyhodnotenia spektier sme zistili podiel magnetickej fázy, ktorý je 68 % a 99 % pre kalenú, resp. nekalenú oceľ.

Na obrázkoch získaných pomocou SEM, ktoré sú vidieť v hornej časti Obr. 1, je možné rozoznať tmavé oválne oblasti na svetlejšom pozadí. Rozdielny kontrast je spôsobený nerovnakými koncentraciami Cr. Kým vo svetlejšom objemovom materiáli je zastúpenie Cr asi 15 at. %, v tmavších oválnych oblastiach jeho podiel narastá až na 50 at. %. Tieto hodnoty boli stanovené pomocou energetickej disperznej spektrometrie (EDS), ktorá je súčasťou SEM.

S využitím NAA sme určili prítomnosť takých prvkov v oceli, ako sú už spomínaný Cr, no aj Mo, W a Mn. Zaujímala nás však hlavne Co, ktorý sa zvykne vyskytovať ako stopová nečistota v zliatinách Fe a po aktivácii vytvára dlhodobo žijúci rádioaktívny izotop ⁶⁰Co. Jeho zistené množstvo však bolo len tesne nad úrovňou stanoviteľnosti. To teda naznačuje, že skúmaná oceľ typu LC 200N je vhodným konštrukčným materiálom pre jadrové zariadenia, nakoľko po novej aktivácii nevykazuje prítomnosť dlhodobo žijúcich rádionuklidov.

V tomto príspevku sme v krátkosti demonštrovali použitie vybraných rádioanalytických metód na vyšetrovanie vlastností ocelí typu LC 200N pre ich uplatnenie ako konštrukčných materiálov jadrových zariadení. Pomocou neutrónovej aktivačnej analýzy bola zistená prítomnosť legujúcich prvkov. Na druhej strane Mössbauerova spektrometria odhalila rozdielnosť v obsahu magnetických kryštalických fáz v kalených a nekalených oceliach. Tiež napomohla s detailnejšou analýzou najbližších okolí Fe atómov.

Práca bola podporená projektami GAČR 14-12449S, VEGA 1/0182/16 a Slovenskou spektroskopickou spoločnosťou, členom ZSVTS s nasledujúcim logom:

